

Propriedades físicas e mecânicas da haste capilar: Uma revisão acerca das técnicas de medição para verificação da eficácia de produtos cosméticos



<https://doi.org/10.56238/sevened2023.006-127>

João Pedro Gonçalves de Souza Soares

Departamento de Engenharia Química, Centro de Tecnologia Campus I, UFPB

Melânia Lopes Cornélio

Departamento de Engenharia Química, Centro de Tecnologia Campus I, UFPB
E-mail: melania.cornelio@academico.ufpb.com.br

RESUMO

O cabelo é uma fibra natural constituída por queratina, uma proteína que contém alta concentração de enxofre advindo do aminoácido cistina. A estrutura capilar é constituída por três principais regiões: a cutícula, o córtex e a medula. O fio de cabelo humano possui algumas

características únicas, como: resistência mecânica, brilho e penteabilidade. Diversas técnicas de medição são reportadas na literatura para mensurar as propriedades mecânicas do cabelo com a finalidade principal de comprovar a eficácia de produtos cosméticos. Alguns destes métodos são: microscopia óptica e eletrônica, medição de resistência mecânica através de dinamômetros, testes de compressão para medição de penteabilidade, avaliação de brilho por reflexão especular, dentre outros. Neste sentido, este trabalho contempla uma revisão bibliográfica das técnicas de medição de propriedades físicas e mecânicas da fibra capilar, que são métodos extremamente importantes no desenvolvimento de novos produtos cosméticos.

Palavras-chave: Cabelo, Resistência mecânica, Brilho, Penteabilidade, Medição.

1 INTRODUÇÃO

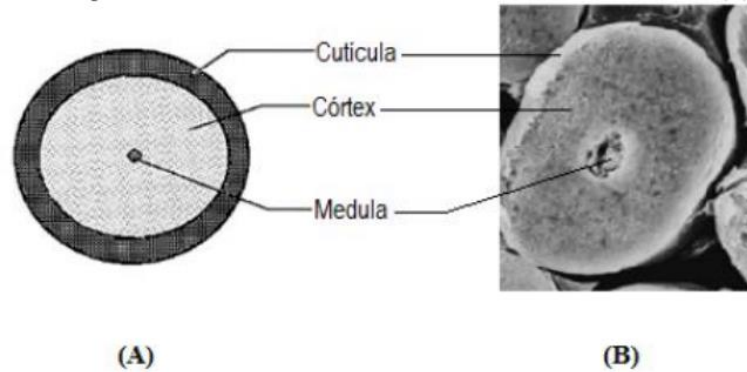
1.1 MORFOLOGIA E ESTRUTURA CAPILAR

O cabelo é constituído de proteínas denominadas queratinas, que são produzidas nos queratinócitos do tecido epitelial. Também estão presentes pequenas quantidades de substâncias solúveis em água, tais como: pentenos, fenóis, ácido úrico, glicogênio, ácido glutâmico, valina e leucina (WILKINSON; MOORE, 1990).

O cabelo é um polímero natural constituído principalmente de proteínas estruturais fibrosas denominadas queratinas (NAKANO, 2006), que crescem a partir de cavidades denominadas folículos pilosos, onde ocorre o desenvolvimento e a queratinização do fio, ou seja, transformação de grupos sulfídricos em ligações de dissulfeto (ROBBINS, 2001). A haste capilar é composta principalmente por 3 regiões distintas: cutícula, córtex e medula, como pode ser observado na Figura 1.

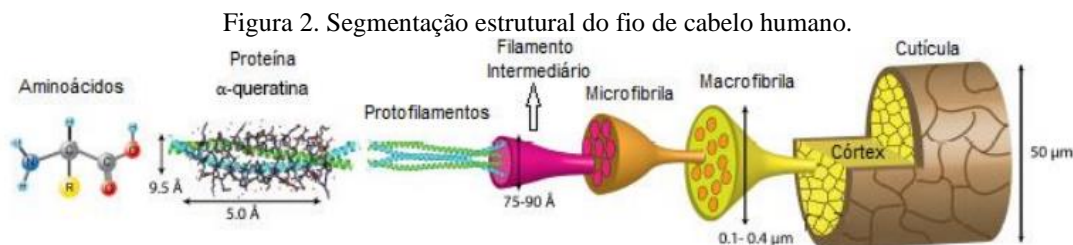


Figura 1. Representação esquemática da seção transversal de uma fibra capilar (A) e imagem de microscópio eletrônico do corte transversal do fio de cabelo humano (B).



Fonte: (MAURICIO, 2019).

A associação da medula, córtex e cutícula formam uma fibra de cabelo, mas é a quantidade de subfibrilas que dá ao cabelo suas propriedades físicas únicas. Essa segmentação da estrutura capilar está apresentada na Figura 2. A cutícula é estruturalmente amorfa (FEUGHELMAN, 2002), incolor e possui células em forma de “escamas” que se sobrepõem (VELASCO, *et al.* 2009), podendo medir de 350 a 450 nm de espessura (DRAELOS, 2000). A principal função da matriz cuticular é a proteção contra agressão externas funcionando como barreira para moléculas maiores além de promover proteção são transparentes e responsáveis pelo brilho e propriedades sensoriais. Portanto, como é a região de maior contato com o meio externo, esta é a área que mais sofre dano na fibra capilar (FEUGHELMAN, 2002).



Fonte: (YANG, *et al.*, 2014).

A cutícula protege o córtex e a medula, que são regiões mais delicadas do fio. O córtex constitui cerca de 90% da fibra capilar (SAKAI; KIKUCHI; FUJII, 2013), com estruturas alongadas e paralelas à direção da fibra (SANT’ANNA, 2000). Essa estrutura é composta de macrofibrilas de 0,1 - 0,4 μm de diâmetro que, por sua vez, são constituídas de filamentos menores denominados microfibrilas. O córtex é o que dá força, flexibilidade, elasticidade, responsável pela forma da fibra e cor do cabelo (MAURICIO, 2019).

Compondo uma pequena porcentagem de massa capilar, porém não menos importante, a medula é a parte mais interna do eixo capilar e está localizada no centro da fibra, podendo ser contínua, fragmentada ou estar completamente ausente, e ainda possui um alto teor de lipídios ao ser comparada

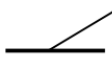



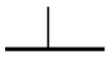



ao restante da fibra (WAGNER, 2007). A forma da medula pode variar, podendo estar vazia ou preenchida com queratina esponjosa ao longo do fio (ROBBINS; CRAWFORD, 1991). Sua função ainda não está completamente elucidada na literatura, embora suas células possam ficar desidratadas e seus espaços possam ser preenchidos com ar, o que afeta tanto a cor quanto o brilho do cabelo (MAURICIO, 2019).

1.2 TIPOS DE CABELO

O cabelo humano apresenta uma grande variedade quanto à sua forma e cor, essa diferença ocorre devido a razões genéticas que variam de indivíduo para indivíduo, assim toda essa heterogeneidade depende da raça ou da mistura de raças herdadas pelo indivíduo (HALAL, 2011). Sabe-se que o formato do cabelo determina o grau de brilho e a eficiência de gordura em recobrir os fios (oleosidade). O cabelo liso possui mais brilho do que o cacheado, permitindo reflexão máxima de luz e movimentação facilitada de gordura pela fibra (DIAS, 2004). Em relação aos tipos de cabelos existem três tipos diferentes: os asiáticos, caucasianos e africanos conforme a (Figura 3).

Figura 3. Classificação dos cabelos segundo a origem étnica.

TIPO DE CABELO	MODO DE INSERÇÃO	SECÇÃO TRANSVERSAL	ASPECTO
Cabelo Caucasiano	Ângulo < 90°C 	Oval 	Ondulados a retos
Cabelo Africano	Curvado 	Eliptico 	Bastante ondulados
Cabelo Asiático	Ângulo reto 	Redondo 	Lisos

Fonte: (PÉREZ, 2005).

Os cabelos caucasianos apresentam uma variedade maior dos três grupos étnicos. Os fios podem possuir formas onduladas ou retas e suas fibras possuem um formato mais oval, crescendo em um ângulo oblíquo em relação ao couro cabeludo. Esse tipo de cabelo possui um fio com diâmetro bastante variado, porém possui o menor diâmetro entre os três grupos (DIAS, 2004).

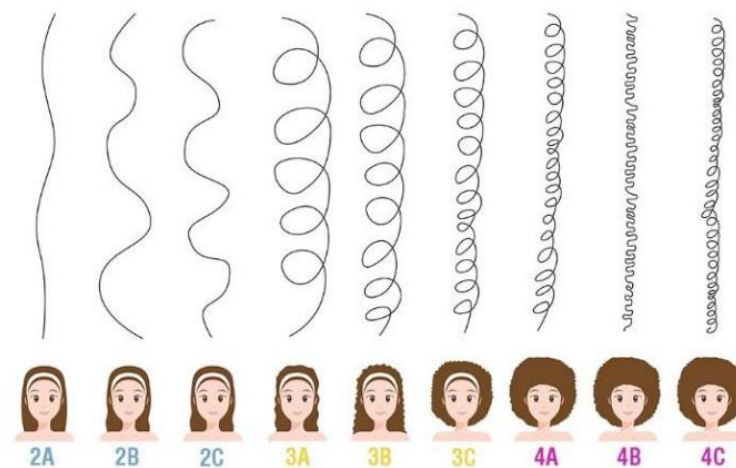
Já os cabelos asiáticos constituem os fios que nascem perpendicularmente ao couro cabeludo, resultando assim em cabelos totalmente retos. Suas fibras são mais espessas e possuem um formato cilíndrico, possuindo o maior diâmetro entre as três etnias. A taxa de crescimento dos cabelos asiáticos é a mais rápida dos três grupos (DIAS, 2004).



Os cabelos africanos se caracterizam por fios bastante ondulados e, por esse motivo, são cabelos mais secos, visto que as glândulas sebáceas são menos ativas neste grupo. Além disso, a distribuição de oleosidade no decorrer da fibra é irregular. Este grupo é o que apresenta a mais lenta taxa de crescimento dos cabelos. Suas fibras possuem formato elíptico e apresentam também o menor conteúdo de água (DIAS, 2004).

Existe ainda na literatura uma classificação dos fios que leva em consideração o nível de curvatura da fibra capilar, subdividindo-os em três grupos: tipo 2 ou ondulados; tipo 3 ou cacheados; e tipo 4 ou crespos. Além disso, essas classificações se subdividem em: (A) cabelos com ondulações mais soltas, (B) ondulações mais definidas e (C) cabelos com cachos menores e mais definidos. Essa classificação dos fios está apresentada na Figura 4.

Figura 4. Classificação segundo a curvatura do fio a partir do tipo 2A.



Fonte: (SANTOS, 2019).

1.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA HASTE CAPILAR

1.3.1 Resistência mecânica

Propriedades mecânicas do cabelo, como resistência e alongamento na ruptura são utilizadas como indicadores primários da integridade capilar e fornecem informações sobre o efeito de uma formulação sobre a fibra capilar (ESTIBALITZ FERNÁNDEZ *et al.*, 2012). No entanto, as metodologias utilizadas para medir as propriedades mecânicas do cabelo são geralmente demoradas, exigem múltiplas medições e são propensas a variações (TINOCO *et al.*, 2018).

A resistência mecânica do cabelo pode ser avaliada por equipamento adequado destinado a medir as propriedades de resistência ou elasticidade das fibras capilares. Por exemplo, essas características podem ser medidas usando um dinamômetro (RIBEIRO; MARTINS; TINOCO, 2021). O dispositivo exerce uma força de tensão ou carga sobre a única fibra fixada em um suporte, rompendo a fibra, que é registrada pelo software, convertendo a informação em gráfico de carga de alongamento (RUETSCH; WEIGMANN, 1996).



1.3.2 Brilho

O brilho consiste na capacidade de reflectância da luz através do contato da luz com determinada superfície. Os raios de luz incidindo sobre uma superfície, no ângulo de incidência de 90 °, promovem a sua reflexão especular. Outras proporções da radiação de luz são dispersadas e detectadas em outros ângulos; esta reflexão é denominada difusa (EVANS, 2018). Como a superfície mais externa do fio é a região cuticular da haste capilar, a integridade da cutícula é determinante para a interação dos cabelos com a luz e, por isso, afeta diretamente no brilho dos fios.

1.3.3 Penteabilidade

A penteabilidade dos fios pode ser definida como a percepção subjetiva da maneira fácil ou difícil de pentear o cabelo. Está diretamente relacionado com as forças opostas à ação de pentear os cabelos. Este é um atributo importante na avaliação do condicionamento capilar (DIAS *et al.*, 2005; DIAS *et al.*, 2008). Para o consumidor, uma melhor penteabilidade reflete um melhor condicionamento do cabelo.

Outros fatores relacionados à penteabilidade envolvem maleabilidade e danos mecânicos que podem ocorrer quando penteamos o cabelo normalmente, e são agravados quando o desembaraçamos (GARCIA, DIAZ, 1976; SYED *et al.*, 1996; ISHII, 1997).

2 OBJETIVOS

Dentro desse contexto, o presente estudo teve o objetivo de realizar uma revisão bibliográfica sobre as diversas técnicas não invasivas utilizadas com finalidade de analisar a fibra capilar e os benefícios que a indústria cosmética pode comprovar a partir dessas análises.

Assim, esse trabalho visa trazer uma abordagem sobre técnicas de medição e equipamentos usados para avaliar os diversos parâmetros físicos e mecânicos da fibra capilar, além de compreender como essas medidas identificam os diversos benefícios comunicados nos produtos cosméticos capilares para o consumidor em relação a haste capilar.

3 METODOLOGIA

Nos meses de novembro e dezembro de 2023, foram selecionados trabalhos científicos através de busca eletrônica nas seguintes bases de dados: Scholar Google, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, MedLine e PubMed. Os trabalhos científicos incluídos nesta revisão foram: teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso, capítulos de livro e artigos científicos.

O processo de busca de trabalhos foi realizado utilizando os seguintes descritores: “*cosmetics*”, “*hair*”, “*hair care*”, “*mechanical resistance*”, “*shine*”, “*gloss*”, “*combability*” e “*photoprotection*”. Estes termos e suas combinações foram selecionados para realizar a busca de trabalhos. Também foram



feitas buscas com os mesmos descritores citados anteriormente, mas em português. Esse processo de busca visa identificar trabalhos especialmente desenvolvidos no Brasil.

Ao final do processo de busca, do total de trabalhos inicialmente rastreados pelos descritores, foram excluídos pelos títulos os trabalhos duplicados. Em seguida, depois da leitura dos textos, foram excluídos os trabalhos que não abordavam o tema proposto. As listas de referência dos artigos pré-selecionados também foram examinadas, a fim de encontrar estudos com potencial relevância a serem adicionados no referencial bibliográfico deste trabalho.

4 MÉTODOS PARA AVALIAR A EFICÁCIA DE PRODUTOS CAPILARES

A caracterização da estrutura e das propriedades físicas e mecânicas dos cabelos são essenciais para desenvolver melhores produtos cosméticos e avançar a Ciência Biológica e Cosmética (BHUSHAN, CHEN, 2006).

4.1 MEDIDORES DE BRILHO

Glossmeters são equipamentos desenvolvidos para medir o brilho dos cabelos. A regularidade da superfície do cabelo ajuda a determinar o reflexo da luz. Quando a luz segue uma superfície uniforme, como num espelho, o ângulo de incidência é exatamente igual ao ângulo de reflexão. Porém o cabelo não é totalmente uniforme e em alguns pontos o feixe de luz é refletido formando diferentes ângulos (0 a 75°) e este tipo de refletância é conhecida como refletância difusa (REIMER *et al.*, 1995; ISHII, 1997; SCHUELLER, ROMANOWSKI, 2001; DIAS, 2004). O princípio de medição destes equipamentos é baseado na leitura da reflexão (seja especular ou difusa) da luz pela superfície dos fios. A Figura 5 mostra um medidor digital de refletância e brilho disponível comercialmente.

Figura 5. Medidor digital de refletância e brilho.



Fonte: (CAMPO, 2008).

O trabalho de LEITE; CAMPOS (2018) traz uma referência de metodologia acerca do uso dos medidores de brilho. O equipamento utilizado foi o Skin Glossymeter GL200 ® (Courage-Khazaka), que mede o brilho da superfície do cabelo. As análises foram realizadas em amostras de cabelo de 5 g,



uma amostra por grupo, em temperatura de 20 a 22 °C, umidade relativa (UR) de 50 a 60 % e na ausência de luz para evitar interferências. Foram realizadas nove medições, três em cada região do fio, que foi dividido em três regiões, ou seja, parte superior, meio e pontas. O trabalho de FARIAS; CORNÉLIO (2023) também faz uso da sonda Skin Glossymeter GL200 ® (Courage-Khazaka) para avaliar o brilho de fios de cabelo tratados com óleos vegetais antes e após tratamentos químicos de descoloração e alisamento.

4.2 ENSAIOS MECÂNICOS: TESTES DE TENSÃO E COMPRESSÃO

Para realizar estes ensaios, é utilizado um dinamômetro (ilustrado na Figura 6) - equipamento frequentemente utilizado para avaliar: tensão de ruptura do cabelo, elasticidade, penteabilidade e desembaraço. São utilizados diferentes testes para medir diferentes propriedades do fio. Para avaliar a tensão de ruptura do fio, o aparelho exerce uma força de tensão no fio do cabelo e mede essa força aplicada ao longo do tempo, até que o fio se rompa. Quanto maior a força suportada pelo fio, maior é sua resistência mecânica (RIBEIRO; MARTINS; TINOCO, 2021).

Figura 6. Dinamômetro operando um teste de tensão de ruptura.



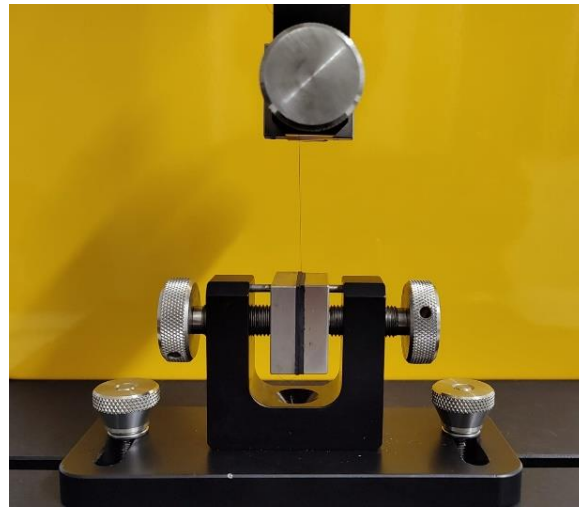
Fonte: (ERIK *et al.*, 2008).

Os trabalhos de RIBEIRO; MARTINS; TINOCO (2021) e TINOCO *et al.* (2018) trazem metodologias de ensaios mecânicos com o uso de dinamômetros. Em ambos os trabalhos foi utilizado um dinamômetro Hounsfield. Para estes testes de desgaste mecânico, foram selecionadas 30 fibras capilares individuais com baixa variabilidade de diâmetro. As medidas de alongamento foram realizadas a uma taxa de 1,5 mm/min, com força pré-carregada de 0,01 N, até a ruptura da fibra.



Outro equipamento bastante utilizado para analisar parâmetros mecânicos de tensão e compressão de mechas de cabelo é o Texturômetro ou Analisador de textura. O trabalho de FARIAS; CORNÉLIO (2023) estuda as propriedades mecânicas das fibras capilares usando o equipamento *Texture Analyzer CT3*, da Ametek-Brookfield. Neste trabalho, as medições de alongamento foram realizadas a uma velocidade de 2,5 mm/s, com pré-carga de 6,8 g. A análise é feita até que a fibra capilar se rompa (FARIAS; CORNÉLIO, 2023). A Figura 7 apresenta o Texturômetro da Ametek-Brookfield operando um teste de tensão.

Figura 7. Texturômetro CT3 Ametek-Brookfield durante teste de tensão.



Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2023).

A forma e o tipo de cabelo podem influenciar fortemente o comportamento das fibras capilares, particularmente a sua resistência ao estresse mecânico (CRUZ *et al.*, 2017). Por exemplo, a alta ondulação do cabelo africano aliada à menor resistência do seu córtex ao estresse mecânico torna esse tipo de cabelo mais quebradiço e mais sensível ao manuseio excessivo, quando comparado aos demais tipos de cabelo (WEI; BHUSHAN; TORGERSON, 2005; MCMICHAEL, 2003).

Já para estudar parâmetros de penteabilidade e desembaraço dos fios, a mecha de cabelo é presa com um suporte, e então dois pentes passam por ela. Neste ensaio, o equipamento mede a força de compressão necessária para que o pente consiga penetrar a mecha de cabelo e, conseqüentemente, desembaraçar os fios. Neste caso, quanto menor a força aplicada pelo equipamento, mais fácil é penetração do pente na mecha e, conseqüentemente, melhor é a penteabilidade do cabelo.

Os trabalhos de GARCIA; DIAZ (1976), ISHII (1997) e DIAS *et al.* (2008) trazem informações metodológicas sobre o ensaio de medida de penteabilidade das mechas. Em ambos os trabalhos foi utilizado um dinamômetro (Instron modelo 4464) com dois pentes não metálicos pendurados em um suporte. A mecha testada foi colocada no clipe superior do equipamento (célula de carga de 5,0 kg). Quando ligados, os pentes que ficam pendurados em suportes laterais, penteiam a mecha analisada. A velocidade do clipe durante o procedimento de medição foi de 500.000 mm/min. A força necessária



para que os pentes passassem pela mecha foi medida pelo equipamento e pelo software, Série IX Software, do próprio equipamento. Texturômetros também podem ser empregados nas análises de penteabilidade das mechas. O trabalho de (LEITE; CAMPOS, 2018) utiliza o Texturômetro TXA XT Plus® para analisar a penteabilidade de mechas tratadas com formulações cosméticas contendo óleos vegetais e silicone. A Figura 8 apresenta o Texturômetro da Ametek-Brookfield operando um teste de compressão.

Figura 8. Texturômetro CT3 Ametek-Brookfield durante teste de compressão.

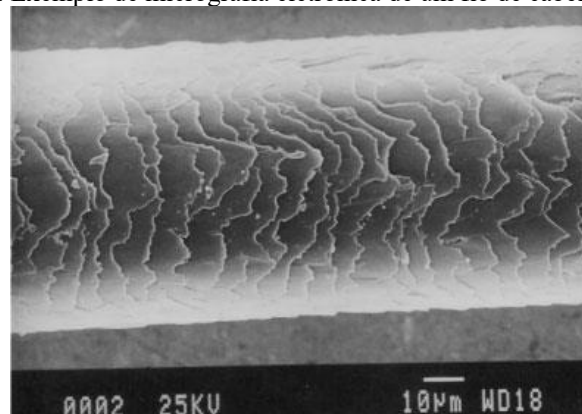


Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2023).

4.3 TÉCNICAS DE MICROSCOPIA

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é muito utilizada para análise de fios capilares. Esta técnica permite observações de amostras espessas e não transparentes sob um feixe de elétrons. Também permite determinar a forma de um material, o tamanho das partículas que o compõem e a sua disposição (DIAS, 2004). A Figura 9 apresenta um exemplo de micrografia eletrônica de um fio de cabelo afro-étnico.

Figura 9. Exemplo de micrografia eletrônica de um fio de cabelo humano.

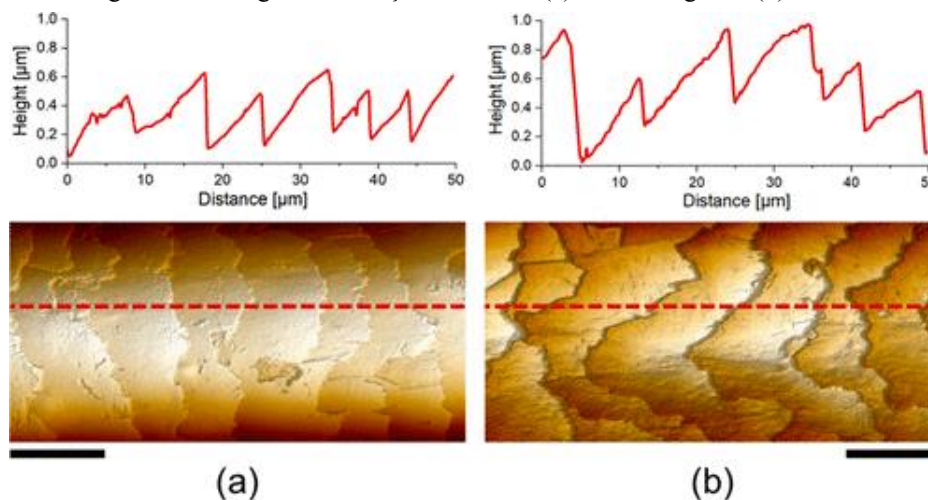


Fonte: (VELASCO *et al.*, 2009).



Outra técnica de microscopia bastante utilizada é Microscopia de Força Atômica (do inglês, AFM) ou microscopia por tunelamento. Este equipamento permite observar imagens de amostras através do microscópio. A imagem é capturada por uma sonda que tem contato físico com a amostra e segue um plano paralelo à superfície enquanto adquire cada ponto do componente topográfico. A deflexão da sonda é então medida por um programa de computador (software) que gera a imagem. Através deste equipamento também é possível obter dados quantitativos sobre distribuição de cargas elétricas e força do sensor para percorrer a amostra (SMITH, 1997; DIAS, 2004). Imagens de micrografias de força atômica realizadas em fios de cabelo são apresentadas na Figura 10.

Figura 10. Imagens de micrografia de força atômica de (a) cabelo virgem e (b) cabelo descolorido.

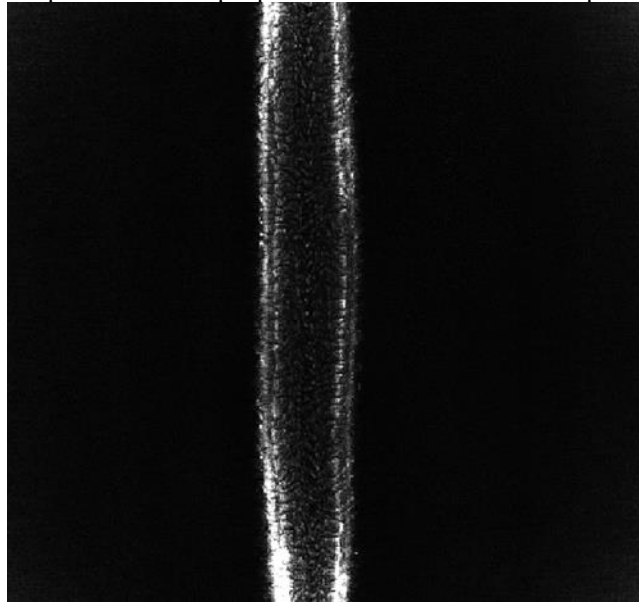


Fonte: (LIU *et al.*, 2022).

A Microscopia de Reflectância Confocal (do inglês, RCM) também é uma técnica microscópica que pode oferecer informações valiosas acerca das fibras capilares. O trabalho de LEITE; CAMPOS (2018) utilizou técnicas de RCM para visualizar as fibras capilares antes e após exposição de radiação ultravioleta (UV). O microscópio utilizado foi o Vivascope 1500 ®. Dois fios de cada cabelo foram avaliados quanto à integridade da cutícula capilar antes e após a irradiação com luz UV. Isso permitiu analisar o efeito da formulação na superfície do cabelo, bem como sua ação preventiva contra os danos UV causados pela exposição solar. A Figura 11 apresenta um exemplo de micrografia RCM de uma fibra capilar.



Figura 11. Exemplo de microscopia por RCM de cabelos tratados após exposição UV.



Fonte: (LEITE; CAMPOS 2018).

4.4 SENSORES PIEZOELÉTRICOS

O princípio piezoelétrico baseia-se na deformação de um cristal por ação mecânica. Quando isso ocorre, um deslocamento de carga é induzido, criando assim um sinal de tensão. Nos cabelos, é possível aplicar esta técnica às percepções táteis das propriedades do cabelo, como: condicionamento, limpeza e rugosidade superficial. Durante a avaliação, o sensor é colocado em um braço mecânico que toca a mecha do cabelo e depois é liberado. Isto é repetido várias vezes. Os resultados são expressos como valores arbitrários de tensão (REIMER *et al.*, 1995; ISHII, 1997; SCHUELLER, ROMANOWSKI, 2001).

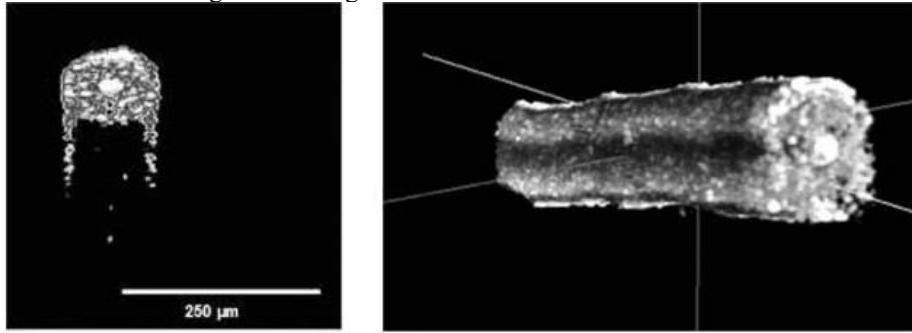
4.5 TOMOGRAFIA DE COERÊNCIA ÓPTICA

A tomografia de coerência óptica (do inglês, OCT) é uma tecnologia de diagnóstico por imagem baseada na interferometria de coerência de baixo comprimento, na qual as características de coerência dos fótons são exploradas, levando a uma tecnologia de imagem capaz de produzir imagens sem contato e não destrutivas (FREITAS *et al.*, 2008), imagens transversais de alta resolução da microestrutura interna de tecidos vivos como: retina, pele (HUANG *et al.*, 1991) e dentes (FREITAS *et al.*, 2006). A imagem OCT é baseada principalmente em uma propriedade óptica da amostra, o coeficiente de retroespalhamento. A cor falsa na imagem representa o coeficiente de retroespalhamento, onde a cor branca representa alta dispersão e a cor preta representa baixa dispersão.

A Figura 12 mostra imagens do cabelo afro-étnico, onde é possível identificar as principais estruturas capilares: medula, córtex e cutícula (FREITAS *et al.*, 2008). O diâmetro médio da medula foi de $29 \pm 7 \mu\text{m}$ e o diâmetro do cabelo foi de $122 \pm 16 \mu\text{m}$ nestas amostras estudadas no trabalho de FREITAS *et al.* (2008).



Figura 12. Imagens de OCT de cabelos afro-éticos.



Fonte: (FREITAS *et al.*, 2008).

4.6 ANÁLISES TÉRMICAS

O estudo do efeito dos produtos capilares nas propriedades mecânicas e térmicas do cabelo é essencial no desenvolvimento de novas formulações. No trabalho de TINOCO *et al.* (2018), foram realizadas medições de Calorimetria de Varredura Diferencial (do inglês, DSC) para avaliar se as partículas à base de queratina penetram no córtex capilar e se protegem o cabelo da desnaturação térmica.

Os estudos térmicos das amostras de cabelo foram conduzidos utilizando um instrumento de DSC com compensação de potência (DSC 6000, Perkin Elmer) e panelas de alumínio (pressão máxima: 1 bar), em uma faixa de temperatura de 50 a 250 °C (taxa de aquecimento: 5 °C min⁻¹, peso da amostra: aproximadamente 2 mg). O dispositivo DSC foi calibrado usando índio e zinco de alta pureza. Cada grupo de teste foi medido em triplicado e os valores médios são relatados (TINOCO *et al.* 2018).

4.7 AÇÃO FOTOPROTETORA

Desenvolver produtos para os cabelos que sejam eficazes na proteção contra danos dos raios ultravioletas (UV) tem sido um desafio, pois alguns parâmetros para avaliação de eficácia ainda não estão bem definidos (DARIO; BABY; VELASCO, 2015). O trabalho de LEITE; CAMPOS (2018) avaliou os efeitos fotoprotetores de uma formulação multifuncional para cuidados com os cabelos contendo extratos botânicos, vitaminas e filtros UV.

As amostras de cabelo com e sem aplicação das formulações (controle) em estudo foram submetidas à radiação UV na faixa de 280–400 nm emitida por um simulador solar com lâmpada de arco de xenônio 150W 96000 (Oriel Corporation, Stratford, CT) acoplada a uma fonte conectada a um espelho dicróico Oriel 81 045 e um filtro Oriel WG 305 59450 (LEITE; CAMPOS 2018).

As formulações foram irradiadas por um período de 25 min cada (com irradiância de 12 mW cm⁻²), sendo viradas na metade do tempo para garantir a homogeneidade do processo de irradiação. Em seguida, foram feitas avaliações comparativas para verificar possíveis danos causados aos cabelos



pela radiação solar e avaliado se a formulação proposta tinha efeito protetor contra esses danos (LEITE; CAMPOS 2018).

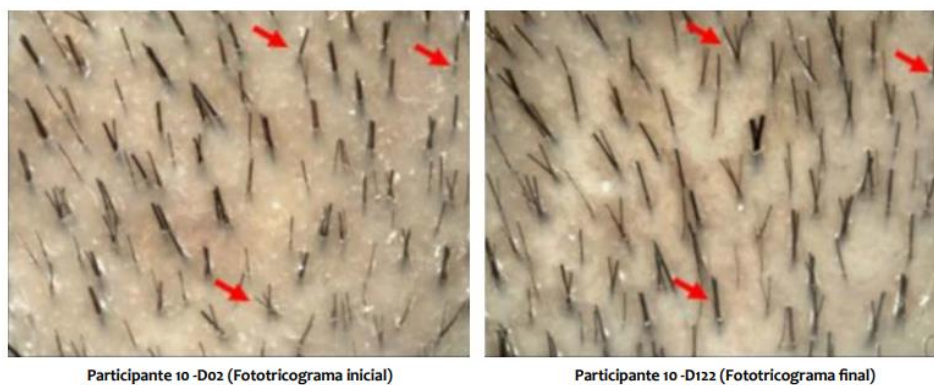
4.8 FOTOTRICOGRAMA E MACROFOTOGRAFIA

O fototricograma corresponde a um método não invasivo em que se raspam os cabelos da região experimental e se captura uma imagem após dois a três dias para determinação da quantidade de fios em fase anágena e telógena (SINCLAIR et al., 2011). Já a macrofotografia corresponde à captura e comparação de imagens pareadas antes e após tratamento para verificação da melhora no crescimento capilar (BLOCH; ESCUDEIRO; SARRUF, 2018).

O trabalho de BLOCH; ESCUDEIRO (2020) traz informações metodológicas acerca do uso de técnicas de fototricograma e macrofotografia aplicadas em estudos de queda de cabelo. No trabalho de BLOCH; ESCUDEIRO (2020), para a análise de fototricograma, foi selecionado o sítio na região frontoparietal para raspagem padronizada dos fios, com área de 2 cm². Então, os participantes compareceram novamente após dois dias para captura de imagem dos fios com o equipamento Dermoscope Dynamic® (FotoFinder Systems, Inc., Maryland, EUA), utilizando aumento de 20 vezes. Este procedimento foi realizado antes do tratamento (visita inicial) e foi repetido após 120 dias de uso do produto investigacional.

Em ambas as visitas, a análise ocorreu na mesma região. As imagens capturadas foram analisadas por meio do programa Image Pro Premier® (Media Cybernetics, Rockville, USA) para comparar a área total com perda capilar entre os tempos experimentais. Um exemplo de imagem da análise de fototricograma desenvolvida neste trabalho está ilustrado na Figura 13. Neste trabalho, foi avaliada a eficácia de uma ampola capilar contendo células-tronco do folículo piloso humano na redução da perda capilar em mulheres acometidas por alopecia androgenética (BLOCH; ESCUDEIRO 2020).

Figura 13. Imagem da análise de fototricograma nos diferentes tempos para pacientes do grupo tratado (referência do participante: 10). As setas indicam o aumento da quantidade de fios.



Fonte: (BLOCH; ESCUDEIRO 2020).



4.9 AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE PRODUTOS COSMÉTICOS PARA CUIDADOS CAPILARES

A avaliação da eficácia dos produtos capilares pode envolver a utilização de dispositivos que geralmente apresentam alta sensibilidade. Esses testes são específicos e fornecem informações apenas sobre um atributo do ensaio. Normalmente são utilizados equipamentos para obtenção da imagem, que é avaliada de forma subjetiva (VELASCO *et al.*, 2009).

As análises devem ser realizadas em regiões pré-definidas das mechas para padronizar o método e obter resultados mais confiáveis. As vantagens destas técnicas, quando comparadas com avaliações meramente subjetivas, são:

- Não há necessidade de painel de voluntários;
- Algumas avaliações podem ser realizadas rapidamente;
- Uso de mechas específicas;
- Condição do ensaio padronizado;
- Podem ser usados para estudos complexos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho de revisão mostram que diversas técnicas analíticas podem ser aplicadas para a verificação de eficácia de produtos cosméticos capilares. Este trabalho também aborda diversas metodologias que podem ser empregadas para análise de performance de produtos, como: aumento de brilho do cabelo, aumento de resistência mecânica, melhora de penteabilidade, redução de queda de cabelo, ação fotoprotetora, dentre outras.

O desenvolvimento de novos produtos cosméticos depende destas técnicas de análise para que haja a devida comprovação de eficácias dos produtos e componentes presentes na formulação. Este trabalho é de suma importância para empresas e indústrias e também para Universidades e Centros de Pesquisa que atuam nas áreas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) no setor cosmético.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), especialmente ao Laboratório de Tecnologia Cosmética (LTC), coordenado pela Prof^a Dra. Melânia Lopes Cornélio.



REFERÊNCIAS

- BHUSHAN, B.; CHEN, N. AFM studies of environmental effects on nanomechanical properties and cellular structure of human hair. *Ultramicroscopy*, Amsterdam, v.106, n.8-9, p.755-764, 2006.
- BLOCH, L. D.; ESCUDEIRO, C. C.; SARRUF, F. D. Method for quantitative evaluation of the efficacy of treatments for hair loss using image analysis: preliminary study. *Surg Cosmet Dermatol*. 2018;10(2):113-5.
- BLOCH, L. D.; ESCUDEIRO, C. C. Efficacy assessment of hair ampoule containing human hair follicle stem cells in hair loss reduction in women with androgenetic alopecia. *Surg Cosmet Dermatol*. 2020;12(1):51-6.
- CAMPO, E. A. *Physical Properties of Polymeric Materials*. Elsevier eBooks, p. 175–203, 1 jan. 2008.
- CRUZ, C. F. *et al.* Changing the shape of hair with keratin peptides. *RSC Advances*, v. 7, n. 81, p. 51581–51592, 1 jan. 2017.
- DARIO, M. F.; BABY, A. R.; VELASCO, M. V. R. Effects of solar radiation on hair and photoprotection. *Journal of Photochemistry and Photobiology B-biology*, v. 153, p. 240–246, 1 dez. 2015.
- DIAS, T. C. S. Análise da ação condicionadora de substâncias cosméticas adicionadas em alisantes capilar à base de tioglicolato de amônio. São Paulo, 2004. 120p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências Farmacêuticas – Universidade de São Paulo.
- DIAS, T. C. S.; LURI, J.; DARINI, A. P.; BABY, A. R.; KANEKO, T. M.; VELASCO, M. V. R. Avaliação de mechas de cabelo Afro-étnico alisadas quimicamente por tração de ruptura e perda protéica. *Rev. Bras. Cienc. Farm.*, São Paulo, v.41, supl.2, p.102, 2005.
- DIAS, T. C. S; BABY, A. R; KANEKO, T. M.; VELASCO, M. V. R. Protective effect of conditioning agents on Afroethnic hair chemically treated with thioglycolate-based straightening emulsion. *J. Cosmet. Dermatol.*, Oxford, v.7, n.2, p.120-126, 2008.
- DRAELOS, Z. D. The biology of hair care. *Dermatologic Clinics*, v. 18, n. 4, p. 651-658, 2000.
- ERIK *et al.* Biomechanical properties of human hair with different parameters. *Skin Res. Technol.*, 14, p. 147-151. 2008.
- ESTIBALITZ FERNÁNDEZ *et al.* Efficacy of antioxidants in human hair. *Journal of Photochemistry and Photobiology B-biology*, v. 117, p. 146–156, 1 dez. 2012.
- EVANS, T. A. Medição do brilho dos cabelos. *Cosmet. Toiletries*, Ed. Port., São Paulo, v.30, n.131, p.28-34, 2018.
- FARIAS, I. L. N. CORNÉLIO, M. L. Óleos vegetais em cabelos quimicamente tratados. *Cosmet. Toiletries*, Ed. Port., São Paulo, v.35, n.6, p.26-34, 2023.
- FEUGHELMAN, M. Natural protein fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, Belmont, v. 83, n. 3, p. 489-507, 2002.



FREITAS, A.Z.; ZECELL, D.M.; VIEIRA, N.D.; RIBEIRO, A.C.; GOMES A.S.L. Imaging carious human dental tissue with optical coherence tomography. *J. Appl. Phys.*, New York, v.99, n.2, p.024906-024906-6, 2006.

FREITAS, A.Z.; BABY, A.R.; MATHOR, M.B.; VIEIRA JUNIOR, N.D.; BEDIN, V.; VELASCO, M.V.R. Tomografia por coerência óptica (OCT) aplicada à Cosmetologia: caracterização estrutural preliminar de fibras capilares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE COSMETOLOGIA, 22, São Paulo, 2008. *Anais*. São Paulo: Associação Brasileira de Cosmetologia, 2008. 1 CD-ROM.

GARCIA, M. L.; DIAZ, J. Combability measurements on human hair. *J. Soc. Cosmet. Chem.*, New York, v.27, n.9, p.379-398, 1976.

HALAL, J. Tricologia e a química cosmética capilar – Tradução da quinta edição norte americana. São Paulo. 2011. p. 56-71.

HUANG, D.; *et al.* Optical coherence tomography. *Science*, Washington, v.254, n.5035, p.1178-1181, 1991.

ISHII, M. Objective and instrumental methods for evaluation of hair care product efficacy and substantiation claims. In: JOHNSON, D.H., (Ed.). *Hair and hair care*. New York: Marcel Dekker, 1997. cap.10, p.261-295.

LEITE, M. G. A.; CAMPOS, P. M. B.G M. Photoprotective Effects of a Multifunctional Hair Care Formulation Containing Botanical Extracts, Vitamins, and UV Filters. *Photochemistry and Photobiology*, v. 94, n. 5, p. 1010–1016, 25 maio 2018.

LIU, Z. *et al.* Effects of Cosmetic Emulsions on the Surface Properties of Mongolian Hair. *ACS Omega*. ACS Publicatios. 7, 13, 10910–10920. 2022

MAURICIO, L. P. A. Caracterização da integridade estrutural da fibra capilar tratada com diferentes produtos químicos. 109f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2019.

MCMICHAEL, A. J. Hair and scalp disorders in ethnic populations. *Dermatologic Clinics*, v. 21, n. 4, p. 629–644, 1 out. 2003.

NAKANO, A. K. Comparação de danos induzidos em cabelos de três etnias por diferentes tratamentos. 2006, 52p. Dissertação (Mestrado em Físico-Química), UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.

PÉREZ, M. T. A. Cosmética de la raza negra-Cuidados y recomendaciones. *Offarm*, v.24, p. 70-78, 2005.

REIMER, B.; OLDINSKI, R.; GLOVER, D. An objective method for evaluating hair shine. *Soap, Cosmet., Chem. Spec*, Melville, v.10, n.71, p.25-32, 1995.

RIBEIRO, A.; MARTINS, M.; TINOCO, A. Hair resistance to mechanical wear. *Wear*, v. 470-471, p. 203612–203612, 1 abr. 2021.

ROBBINS, C. R. *Chemical and physical behavior of human hair*. 4 ed. New York: Springer, 2001.

ROBBINS, C. R.; CRAWFORD R. J. Cuticle Damage and the tensile properties of human hair. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, v.42, p.59-60. 1991.



RUETSCH, S.; WEIGMANN, H.-D. Mechanism of tensile stress release in the keratin fiber cuticle: I. *Journal of Soc. Cosmet. Chem*, v. 47, p. 13–26, 1996.

SAKAI, M.; KIKUCHI, K.; FUJII, M. Quaternary and secondary structural imaging of a human hair by a VSFG-detected IR super-resolution microscope. *Chemical Physics*, v. 419, p. 261-265, 2013.

SANT'ANNA, A. L. S. Estudo da deposição de ceramidas sobre a fibra capilar para o combate a danos cuticulares. 2000, 68p. Dissertação (mestrado em química). UNICAMP/Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

SANTOS, V. A. A. Caracterização de resíduos de cabelos crespos do tipo 4C com tranças sintéticas tipo Kanekalon e manipulação de shampoo para cabelos com tranças. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

SCHUELLER, R.; ROMANOWSKI, P. Evaluating shine on hair. *Cosmet. Toiletries*, Carol Stream, v.116, n.12, p.47-52, 2001.

SINCLAIR, R. *et al.* Hair loss in women : medical and cosmetic approaches to increase scalp hair fullness. *Br J Dermatol.* 2011;165(Suppl 3):12-8.

SMITH, J.R. Use of atomic force microscopy for high-resolution non-invasive structural studies of human hair. *J. Soc. Cosmet. Chem, New York*, v.48, n.4, p.199-208, 1997.

SYED, A.N.; KUHAJDA, A.; AYOUB, H.; AHMAD, K.; FRANK, E.M. Cabelo afro-americano vs. caucasiano: propriedades físicas. *Cosmet. Toiletries, Ed. Port.*, São Paulo, v.8, n.3, p.55-59, 1996.

TINOCO, A. *et al.* Keratin-based particles for protection and restoration of hair properties. *International Journal of Cosmetic Science*, v. 40, n. 4, p. 408–419, 1 ago. 2018.

VELASCO, M. V. R. *et al.* Hair fiber characteristics and methods to evaluate hair physical and mechanical properties. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences.* V. 45, n. 1, p. 153-162, 2009.

WAGNER, R. C. C. *et al.* Electron microscopic observations of human hair medulla. *Journal of Microscopy*, v. 226, n. 1, p. 54-63, 2007.

WEI, G.; BHUSHAN, B.; TORGERSON, P. M. Nanomechanical characterization of human hair using nanoindentation and SEM. *Ultramicroscopy*, v. 105, n. 1-4, p. 248–266, 1 nov. 2005.

WILKINSON, J. B.; MOORE, R. J. *Cosmetologia de Harry*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos, 1990. 1062p.

YANG, F. C.; ZHANG, Y.; RHEINSTÄDTER, M. C. The structure of people's hair. *PeerJ*, p. 1-19, 2014.